VISIT…

LANZAROTE Caliente.com

5.3.3. Combinarea efectelor componentelor acțiunii seismice

Acțiunea seismică asupra unei construcții este dată de componente de translație după trei axe ortogonale (două orizontale şi una verticală). În general, efectele acțiunii seismice (deplasări laterale ale nodurilor structurii, eforturi şi tensiuni în elementele structurale, etc.) se datorează ambelor componente ale acțiunii seismice. În Figura 5.9 se demonstrează acest aspect pe baza forței axiale dintr-un stâlp al structurii, care se consideră acționată doar de componentele orizontale ale acțiunii seismice (F_x şi F_y). Forțele seismice F_x generează efortul axial N_{1x}, iar componenta F_y a acțiunii seismice generează efortul axial N_{1y}. Efortul axial total, ca şi efect al acțiunii seismice după ambele direcții orizontale este N_1. Efectele acțiunii seismice (valorile de vârf ale N_{1x} şi N_{1y}) din fiecare componentă orizontală pot fi determinate considerând structura acționată separat de o componentă a acțiunii seismice. Efectul total al ambelor componente orizontale ale acțiunii seismice (N_1) nu este însă egal cu suma efectelor acțiunii seismice considerate separat după cele două direcții (N_{1x} şi N_{1y}) în cazul unui calcul cu forțe laterale sau un calcul spectral. Aceasta se datorează faptului că aceste metode de calcul estimează direct valoarea de vârf a efectului.

Valorile de vârf ale accelerației terenului pentru componentele orizontale ale mişcării seismice nu au loc la acelaşi moment de timp. Acest fenomen este exemplificat în Figura 5.10 pentru componentele N-S şi E-W ale înregistrării seismice de la stația INCERC a cutremurului din 04.03.1997 din Vrancea. În plus, din cauza unor rigidități în general diferite pe cele două direcții orizontale, structura va avea perioade proprii de vibrație diferite pe cele două direcții. Deoarece răspunsul seismic în timp al unei structuri este influențat puternic de perioada proprie de vibrație (vezi Figura 3.3), efectele acțiunii seismice din diferite componente ale acțiunii seismice vor avea loc la momente de timp diferite.

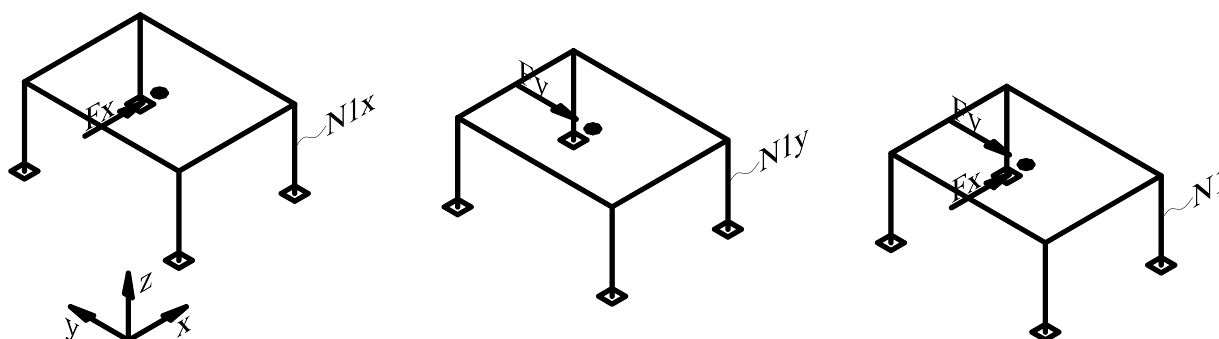


Figura 5.9. Exemplu de combinare a efectelor componentelor acțiunii seismice.

În concluzie, valorile de vârf ale efectelor din diferite componente ale acțiunii seismice nu sunt corelate statistic (nu se înregistrează la acelaşi moment de timp). De aceea, atunci când se folosesc metode de calcul care determină direct valorile de vârf ale efectelor acțiunii seismice, se va folosi o metodă de combinare a efectelor acțiunii seismice care să reflecte faptul că acele valori nu sunt corelate statistic. Normele de proiectare antiseismică (ex. P100-1/2006 şi Eurocode 8). Combinația efectelor componentelor orizontale ale acțiunii seismice poate fi realizată astfel:

- Se evaluează separat răspunsul structural pentru fiecare direcție de acțiune seismică
- Valoarea de vârf a efectului acțiunii seismice reprezentată prin acțiunea simultană a două componente orizontale ortogonale, se obține cu regula de combinare radical din suma pătratelor a fiecărei componente orizontale:

$$E_{Ed} = \sqrt{E_{Edx}^2 + E_{Edy}^2} \tag{5.21}$$

unde:

E_{Edx} reprezintă efectele acțiunii datorate aplicării mişcării seismice pe direcția axei orizontale x alese pentru structură,

E_{Edy} reprezintă efectele acțiunii datorate aplicării mişcării seismice pe direcția axei orizontale y, perpendiculară pe axa x a structurii.

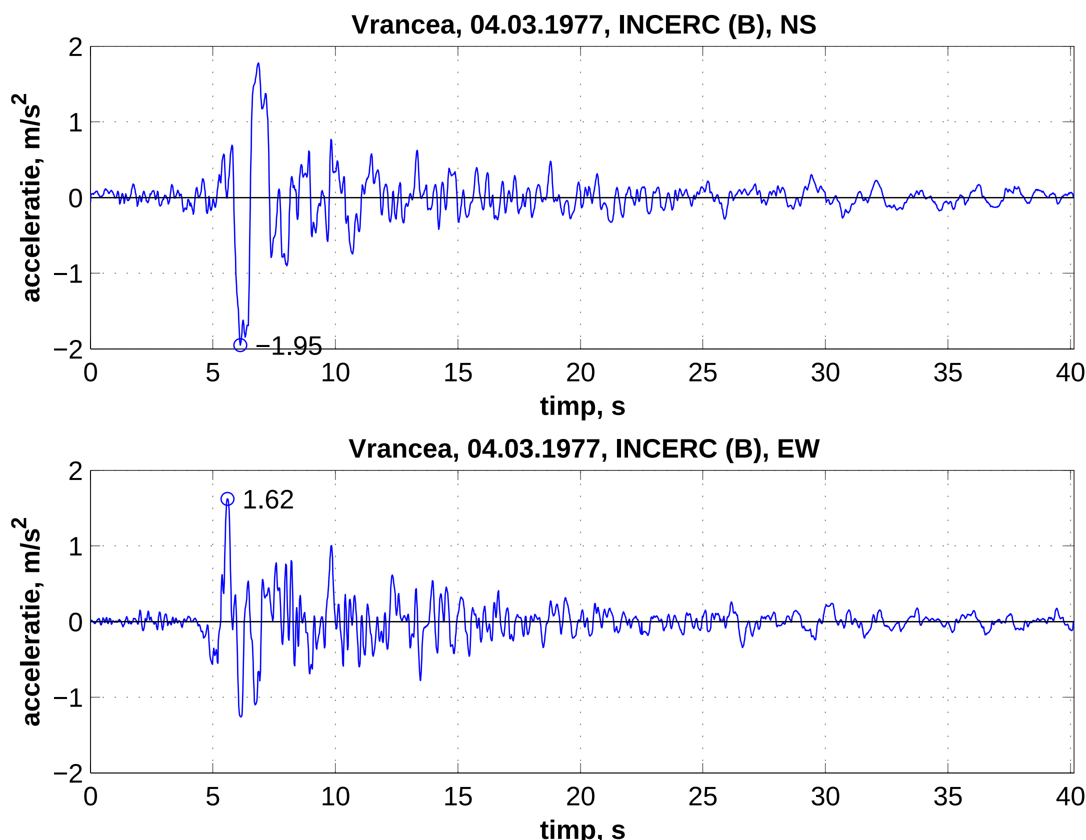


Figura 5.10. Componentele N-S şi E-W ale înregistrării seismice de la staţia INCERC a cutremurului din 04.03.1997 din Vrancea.

Ca o alternativă a metodei de mai sus, efectele acţiunii datorate combinaţiei componentelor orizontale ale acţiunii seismice se pot calcula folosind următoarele combinaţii:

$$E_{Edx}\text{"+"}0.3E_{Edy} \tag{5.22}$$

$$0.3E_{Edx}\text{"+"}E_{Edy} \tag{5.23}$$

unde “+” înseamnă “a se combina cu”.

"Semnul fiecărei componente în combinaţiile de mai sus se va lua astfel încât efectul acţiunii considerate să fie defavorabil. Pentru clădiri care satisfac criteriile de regularitate în plan şi la care pereţii sau sistemele independente de contravântuire verticală în plane asociate celor două direcţii orizontale principale sunt singurele elemente care preiau efectele mişcării seismice, se poate considera acţiunea separată a cutremurului în cele două direcţii orizontale principale fără a se face combinaţiile (5.22) şi (5.23)."

În cazul în care se ţine cont şi de componenta verticală a mişcării seismice, relaţiile (5.21) - (5.23) devin:

$$E_{Ed} = \sqrt{E_{Edx}^2 + E_{Edy}^2 + E_{Edz}^2} \tag{5.24}$$

$$0.3E_{Edx}\text{"+"}0.3E_{Edy}\text{"+"}E_{Edz} \tag{5.25}$$

$$E_{Edx}\text{"+"}0.3E_{Edy}\text{"+"}0.3E_{Edz} \tag{5.26}$$

$$0.3E_{Edx}\text{"+"}E_{Edy}\text{"+"}0.3E_{Edz} \tag{5.27}$$

unde E_{Edz} reprezintă efectele acţiunii datorate aplicării componentei verticale a acţiunii seismice.

Componenta verticală a mişcării seismice poate fi neglijată pentru majoritatea structurilor curente. Conform Eurocode 8, 2003, componenta verticală a mişcării seismice trebuie considerată atunci

când acceleraţia verticală de vârf a terenului depăşeşte 0.25g, iar structura are una din următoarele caracteristici:

- conţine elemente orizontale cu deschideri de peste 20 m
- conţine elemente în console cu lungimea de peste 5 m
- conţine elemente orizontale precomprimate
- conţine stâlpi rezemaţi pe rigle
- este izolată la bază

5.4. Conformarea antiseismică a structurilor

Prezicerea răspunsului seismic al structurilor la cutremure viitoare conţine o doză mare de incertitudine. Aceasta se datorează în primul rând imposibilităţii de a cunoaşte cu exactitate caracteristicile cutremurelor de pământ viitoare, iar în cel de-al doilea rând diferenţelor dintre modele structurale folosite la proiectarea structurilor şi comportării reale ale acestora. Una dintre aceste diferenţe constă în faptul că proiectarea curentă foloseşte modele elastice a structurilor, în timp ce răspunsul structurilor sub acţiunea unui cutremur major este în domeniul inelastic. Evaluarea răspunsului seismic folosind metode de analiză statică în locul unei analize dinamice reprezintă o altă diferenţă majoră. Incertitudinea determinării răspunsul seismic al unei structuri este amplificată şi de alte aspecte, printre care se numără imposibilitatea de a prezice cu exactitate valoarea şi mai ales distribuţia încărcărilor gravitaţionale, aportul elementelor nestructurale la rigiditatea, rezistenţa şi amortizarea structurii principale de rezistenţă. De aceea este foarte importantă o proiectare conceptuală a structurilor situate în zone seismice, care să asigure o comportare seismică corespunzătoare. Aspectele conceptuale de bază se referă la:

- simplitatea structurii
- uniformitate, simetrie şi redundanţă
- rezistenţă şi rigiditate laterală în orice direcţie
- rezistenţă şi rigiditate la torsiune
- realizarea ca diafragme a planşeelor
- fundaţii adecvate

Realizarea unei structuri simple, compacte, pe cât posibil simetrice, reprezintă obiectivul cel mai important al proiectării, deoarece modelarea, calculul, dimensionarea, detalierea şi execuţia structurilor simple este supusă la incertitudini mult mai mici şi, ca urmare, se poate impune construcţiei, cu un grad înalt de încredere, comportarea seismică dorită.

"Proiectarea seismică va urmări realizarea unei structuri cât mai regulate, distribuite cât mai uniform în plan, permiţând o transmitere directă şi pe un drum scurt a forţelor de inerţie aferente maselor distribuite în clădire." Atunci când este necesară o formă în plan care nu este uniformă, structura poate fi împărţită prin intermediul unor rosturi antiseismice în unităţi independente structural (vezi Figura 5.11). Se va evita rezemarea stâlpilor pe grinzi (vezi Figura 5.12).

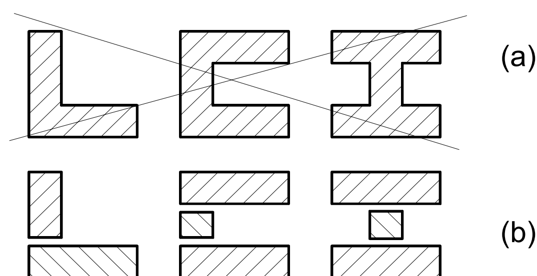


Figura 5.11. Forme ale structurilor neuniforme în plan (a) şi transformarea acestora în forme uniforme prin dispunerea unor rosturi antiseismice (b).

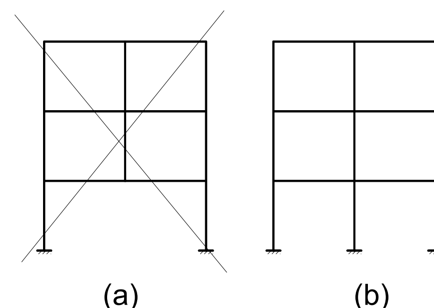


Figura 5.12. Rezemarea stâlpilor pe rigle – de evitat (a); cadru cu o conformare corespunzătoare (b).

Pe lângă uniformitatea în plan este necesară şi o uniformitatea pe verticală, aceasta diminuând concentrarea eforturilor şi a cerinţelor de ductilitatea în zone izolate ale clădirii. Nu doar forma clădirii trebuie să fie uniformă, ci şi elementele structurale care asigură rigiditatea la forţe laterale

trebuie să fie dispuse cât mai uniform, pentru a permite excentricităţi cât mai mici şi o redundanţă sporită a structurii, care conduce la o capacitate sporită de disipare a energiei seismice în întreaga structură.

Deoarece mişcarea seismică are componente pe două direcţii orizontale, structura trebuie să posede rigidităţi şi rezistenţe laterale similare pe cele două direcţii principale ale structurii. Sisteme tipice de preluare a forţelor laterale sunt structurile în cadre necontravântuite (cu noduri rigide), cadrele contravântuite (de regulă cu noduri articulate) şi pereţii structurali (vezi Figura 5.13a-c). Cu excepţia cadrelor necontravântuite cu noduri rigide, celelalte sisteme de preluare a forţelor laterale impun restricţii de ordin arhitectural, existând în consecinţă limitări în dispunerea acestora în structură. În plus, sistemele de preluare a forţelor gravitaţionale sunt în general mai puţin economice decât cele de preluare doar a forţelor laterale (vezi Figura 5.13d). De aceea, o structură tipică va conţine atât un sistem de preluare a forţelor gravitaţionale, cât şi unul de preluare a forţelor laterale (vezi Figura 5.13e).

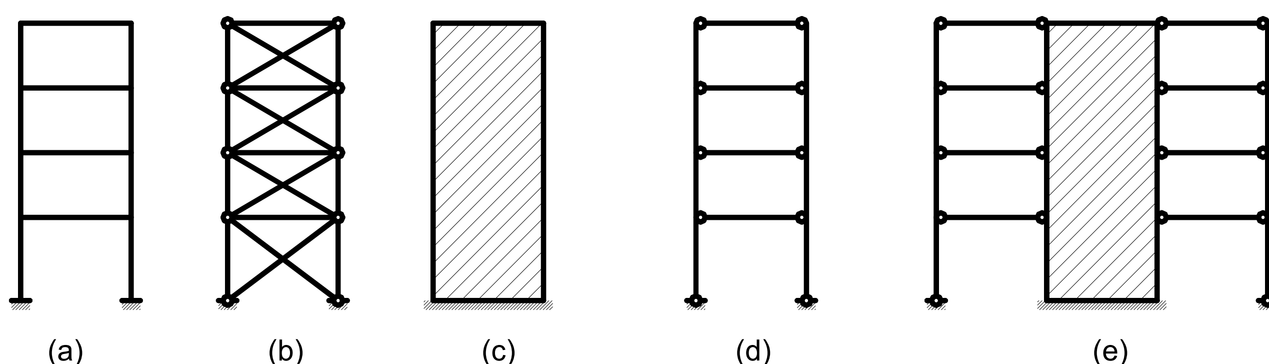


Figura 5.13. Sisteme de preluare a forţelor laterale: cadre necontravântuite cu noduri rigide (a), cadre contravântuite (b), pereţi structurali (c); sistem de preluare a forţelor gravitaţionale (d) şi sistem combinat (e).

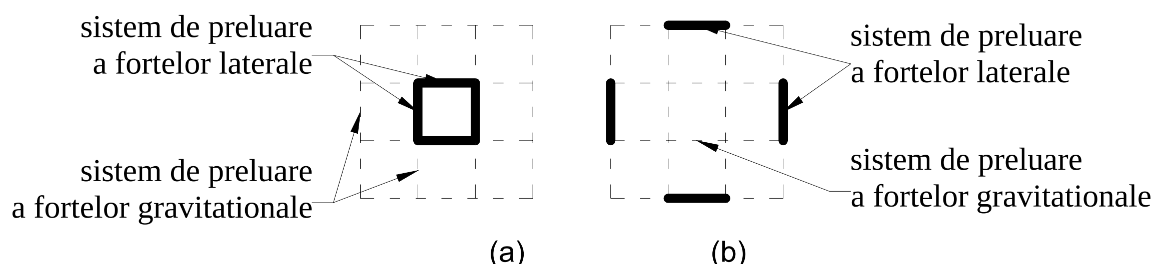


Figura 5.14. Structuri cu acelaşi număr de elemente de rezistenţă laterale: susceptibile la efectele de torsiune (a) şi cu o rigiditatea şi rezistenţă sporite la efectele de torsiune (b).

Pe lângă rezistenţa şi rigiditatea la forţe laterale, pentru o comportare adecvată la acţiunea seismică, o structură trebuie să posede o rigiditatea suficientă la torsiune. Structurile flexibile la torsiune conduc la deformaţii şi eforturi mai mari în elementele perimetrale ale clădirii, precum şi la o distribuţie neuniformă a deformaţiilor şi eforturilor în elementele structurale. Sistemele de preluare a forţelor laterale trebuie dispuse pe cât posibil perimetral (vezi Figura 5.14), pentru a realiza structuri cu rigiditate şi rezistenţă sporită la torsiune.

Dispunerea sistemelor de preluare a forţelor laterale trebuie să fie cât mai simetrică (vezi Figura 5.15a), pentru a asigura o diferenţă cât mai mică între centrul de rigiditate (CR) şi centrul maselor (CM) al unei structuri. Forţele seismice sunt forţe de inerţie, rezultanta cărora acţionează în centrul de masă. Reacţiunea structurii însă acţionează însă în centrul de rigiditate al structurii. Atunci când centrul de rigiditate coincide cu centrul de masă (Figura 5.15a), forţele seismice laterale care acţionează pe o direcţie oarecare induc o mişcare de translaţie uniformă a unui etaj al structurii. Dacă există o excentricitate între centrul de masă şi cel de rigiditate (vezi Figura 5.15b), pe lângă componenta de translaţie, va exista şi o componentă de rotaţie a planşeului. Acest efect conduce la creşteri ale deplasărilor la marginea flexibilă (Δ_{2x} în Figura 5.15b) faţă de cele de la marginea rigidă (Δ_{1x} în Figura 5.15b) pe direcţia de aplicare a forţei. În plus, vor apărea şi componente de

translaţie pe direcţia perpendiculară aplicării încărcării seismice (Δ_{1y} şi Δ_{2y}). Este de notat că excentricitatea între centrul de rigiditate şi cel al maselor se poate datora atât unei distribuţii neuniforme ale rigidităţii, cât şi a maselor structurii.

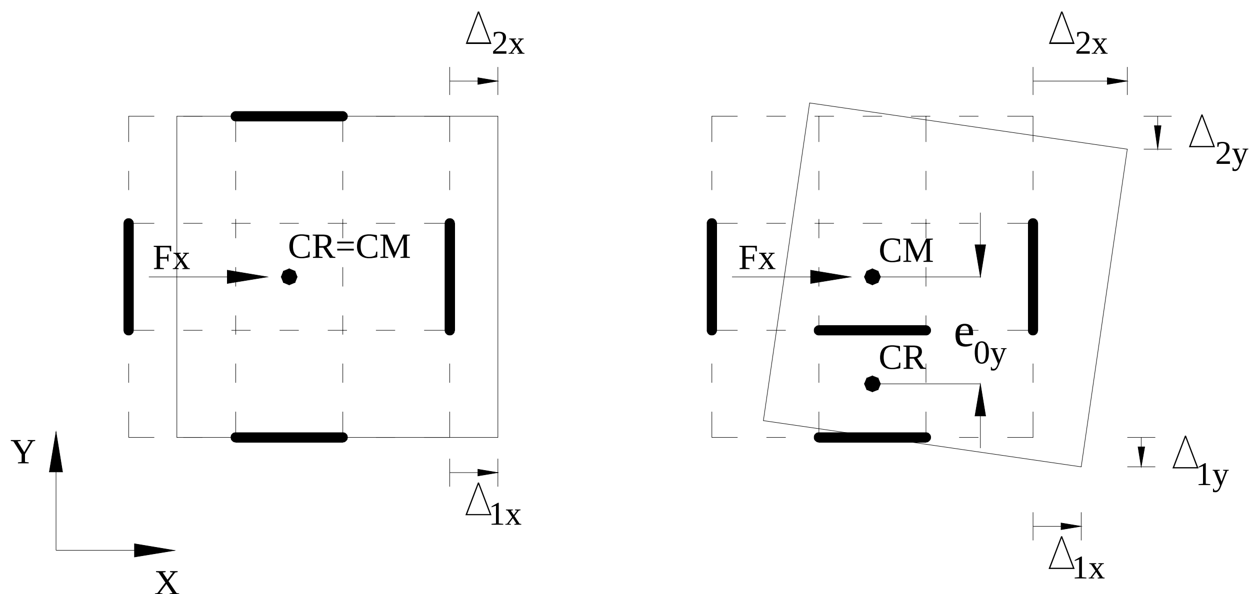


Figura 5.15. Planul unei structuri cu o dispunere simetrică a sistemelor de preluare a forţelor laterale (a) şi cu o dispunere nesimetrică a acestora (b).

Planşeele structurilor multietajate joacă un rol foarte important în comportarea de ansamblu a structurii. La structurile compuse din sisteme de preluare a forţelor laterale combinate cu sisteme de preluare a forţelor gravitaţionale (vezi Figura 5.14), efectul de diafragmă al planşeelor asigură transmiterea forţelor seismice către sistemele de preluare a forţelor laterale şi asigură conlucrarea spaţială a structurii. Efectul de diafragmă al planşeelor este deosebit de util în cazul structurilor cu o formă neregulată în plan şi atunci când sisteme de preluare a forţelor laterale dispuse pe o direcţie au rigidităţi diferite. Pentru a asigura efectul de diafragmă, planşeele (inclusiv acoperişul) structurilor trebuie să posede o rezistenţă şi o rigiditate adecvate.

"Alcătuirea fundaţiilor construcţiei şi a legăturii acesteia cu suprastructura trebuie să asigure condiţia ca întreaga clădire să fie supusă unei excitaţii seismice cât mai uniforme. În cazul structurilor alcătuite dintr-un număr de pereţi structurali cu rigiditate şi capacităţi de rezistenţă diferite, infrastructurile de tip cutie rigidă şi rezistentă sau de tip radier casetat sunt în general recomandabile. În cazul adoptării unor elemente de fundare individuale (directă sau la adâncime, prin piloţi), este recomandabilă utilizarea unei plăci de fundaţie (radier) sau prevederea unor grinzi de legătură între aceste elemente, în ambele direcţii." (P100-1/2006).

5.5. Criterii de regularitate structurală

5.5.1. Alegerea metodei de calcul structural

Normele de proiectare antiseismică conţin criterii care clasifică structurile în regulate şi neregulate. Aceste criterii se referă atât la regularitatea în plan, cât şi pe verticală. Clasificarea funcţie de regularitatea structurilor are implicaţii asupra următoarelor aspecte:

- modelul structural, care poate fi plan sau spaţial
- metoda de calcul structural, care poate fi metoda mai simplă a forţelor laterale sau metoda de calcul modal cu spectre de răspuns
- valoarea factorul de comportare q, care trebuie redusă în cazul structurilor neregulate pe verticală

În Tabelul 5.3 este prezentată sintetic relaţia dintre regularitatea structurală (în plan şi pe verticală) şi simplificările admise în calculul structural, precum şi necesitatea reducerii factorului de comportare q. P100-1/2006 recomandă o reducere cu 20% a factorului de comportare de referinţă

în cazul structurilor neregulate pe verticală, şi o reducere cu 30% în cazul structurilor neregulate atât pe verticală, cât şi în plan.

Tabelul 5.3. Consecința regularității structurale asupra proiectării structurii (P100-1/2006).

Regularitate		Simplificare de calcul admisă		Factor de comportare pentru calcul elastic liniar (q)
În plan	Pe verticală	Model	Calcul elastic liniar	
Da	Da	Plan	* Forțe laterale echivalente	Valoarea de referință
Da	Nu	Plan	Modal	Valoare redusă
Nu	Da	Spațial	Modal	Valoarea de referință
Nu	Nu	Spațial	Modal	Valoare redusă

Notă: *Numai dacă construcția are o înălțime de până la 30 m şi o perioadă proprie T_1 < 1.50 s.

O regularitate în plan a structurii implică o excentricitate mică între centrul masă şi cel de rigiditate, adică efecte de torsiune reduse. În acest caz toate sistemele de preluare a forțelor laterale se încarcă în mod egal, ceea ce permite analiza fiecărui sistem de preluare a forțelor laterale în parte, adică folosirea unui model plan. La rândul său, o structură reprezentată de o schemă structurală plană, care este regulată pe verticală, are perioada proprie T_1 < 1.50 s şi are sub 30 m înălțime răspunde preponderent în primul mod propriu de vibrație, şi de aceea poate fi analizată folosind metoda forțelor laterale. Dacă o structură este regulată în plan, dar nu şi pe verticală, modelul plan mai este posibil, dar răspunsul total al acestuia are contribuții semnificative din modurile superioare de vibrație. De aceea, astfel de structuri pot fi analizate folosind modele plane, dar utilizând o analiză modală cu spectre de răspuns.

Structurile care nu sunt regulate în plan implică efecte de torsiune importante, şi, în consecință, sistemele structurale de preluare a forțelor laterale se încarcă în mod neuniform. Determinarea aportului diverselor elemente structurale la preluare încărcării seismice totale se determină cel mai simplu folosind un model spațial al structurii şi un calcul modal cu spectre de răspuns.

Factorul de comportare q reflectă capacitatea structurii de disipare a energiei seismice. Valoarea de referință a acestui factor depinde de ductilitatea şi de suprarezistența structurii. Structurile care nu sunt regulate pe verticală sunt susceptibile la concentrări ale deformațiilor plastice în anumite părți ale structurii (o distribuție neuniformă a cerinței de ductilitate), ceea ce este echivalent cu o ductilitate redusă a structurii. Acest fapt implică necesitatea folosirii un factor de comportare q redus față de valoarea de referință.

5.5.2. Criterii de regularitate în plan

O structură regulată în plan trebuie să aibă o distribuție simetrică în plan a rigidității şi maselor în raport cu două axe ortogonale. Configurația în plan trebuie să fie compactă, apropiată de o formă poligonală convexă. Atunci când există retrageri în plan, acestea nu trebuie să fie cât mai reduse (15% din aria totală conform P100-1/2006). Pentru a permite o distribuție a forțelor seismice la sistemele de preluare a forțelor laterale, rigiditatea în plan a planşeelor trebuie să fie suficient de mare pentru a permite modelarea acestora ca şi diafragme rigide.

P100-1/2006 mai conține următoarea cerință pentru regularitatea în plan. La fiecare nivel, în fiecare din direcțiile principale ale clădirii, excentricitatea va satisface condițiile:

$$e_{ox} \leq 0.30\, r_x \qquad (5.28)$$

$$e_{oy} \leq 0.30\, r_y \qquad (5.29)$$

unde:
e_{ox}, e_{oy} – distanța între centrul de rigiditate şi centrul maselor, măsurată în direcție normală pe direcția de calcul (vezi Figura 5.15)
r_x, r_y – rădăcina pătrată a raportului între rigiditatea structurii la torsiune şi rigiditatea laterală în direcția de calcul

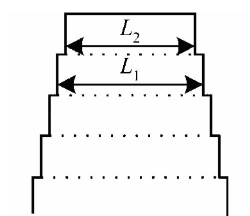
"În cazul structurilor monotone pe verticală, rigiditatea laterală a componentelor structurale (cadre, pereți) se poate considera proporțională cu un sistem de forțe laterale cu o distribuție simplificată (vezi capitolul 5.3.1) care produce acestor componente o deplasare unitară la vârful construcției. Alternativ condițiilor date de relațiile (5.28) şi (5.29), structura este considerată regulată, cu

sensibilitate relativ mică la răsucirea de ansamblu, dacă deplasarea maximă, înregistrată la o extremitate a clădirii este de cel mult 1.35 ori mai mare decât media deplasărilor celor două extremităţi." (P100-1/2006)

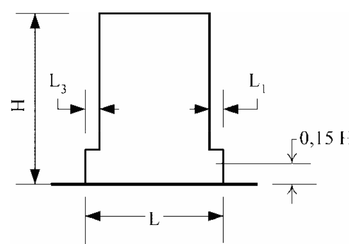
5.5.3. Criterii de regularitate pe verticală

Pentru ca o structură să fie considerată regulată pe verticală, ea trebuie să respecte condiţiile următoare:

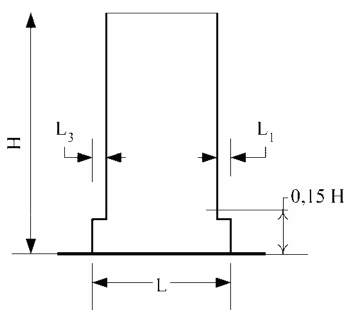
- Sistemele de preluare a forţelor laterale trebuie să se dezvolte fără întreruperi de la fundaţii până la ultimul nivel al structurii
- Masa şi rigiditatea laterală a structurii trebuie să fie constante sau să se reducă gradual cu înălţimea
- La structurile în cadre nu trebuie să existe variaţii bruşte ale raportului între rezistenţa necesară şi cea capabilă la etaje adiacente



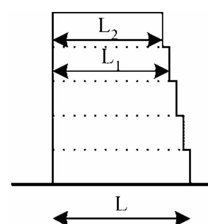
$$\frac{L_1 - L_2}{L_1} \leq 0.2$$



$\frac{L_3 + L_1}{L} \leq 0.2$ (retrageri la o înălţime peste 0.15H)



$\frac{L_3 + L_1}{L} \leq 0.5$ (retrageri la o înălţime sub 0.15H)



$$\frac{L - L_2}{L} \leq 0.3$$

$$\frac{L_1 - L_2}{L_1} \leq 0.1$$

Figura 5.16. Criterii de regularitate pentru structuri cu retrageri pe înălţime (Eurocode 8, 2003).

Atunci când există retrageri, acestea trebuie să se încadreze în limitele exemplificate în Figura 5.16 (Eurocode 8, 3003).

5.6. Modelul structural

Pentru determinarea forţelor seismice se folosesc modele structurale care trebuie să reprezinte într-un mod adecvat distribuţia de rigiditate şi mase în structură. Atunci când se foloseşte o analiză inelastică, modelul structural trebuie să conţină şi modelarea rezistenţei elementelor structurale. În general, structura poate fi considerată ca fiind alcătuită din sisteme de preluare a forţelor gravitaţionale şi sisteme de preluare a forţelor laterale, conectate la nivelul planşeelor.

Atunci când planşeele nu pot fi considerate infinit rigide în planul lor (de exemplu cazul planşeelor de lemn, sau a celor de beton armat cu goluri de dimensiuni mari), masele distribuite în structură pot fi considerate concentrate în nodurile structurii, conform suprafeţei aferente (vezi capitolul 4.1.3 şi Figura 5.17a). În astfel de cazuri se pot neglija componentele de rotire ale maselor, în calculul structural considerându-se doar componentele de translaţie. Astfel, pentru un model spaţial, în

fiecare nod al structurii se consideră concentrate componentele de translaţie după cele două direcţii orizontale.

În cazul în care planşeele pot fi considerare infinit rigide în planul lor (de exemplu în cazul planşeelor de beton armat, cu o formă regulată şi goluri de dimensiuni mici), masele aferente unui nivel pot fi concentrate în centrul de masă al acelui nivel. Masele concentrate vor avea componente după direcţiile gradelor de libertate ale diafragmelor rigide (două translaţii în plan orizontal şi o rotire faţă de axa verticală, vezi capitolul 4.1.3 şi Figura 5.17b). Componentele de translaţie ale masei se determină însumând toate masele aferente nivelului respectiv:

$$M_x = M_y = \sum m_i \tag{5.30}$$

Componenta de rotire a masei de nivel M_{zz} poartă denumirea de moment de inerţie al masei şi se poate determina conform formulei:

$$M_{zz} = \sum m_i d_i^2 \tag{5.31}$$

unde d_i este distanţa de la centrul de masă la masa concentrată discretă m_i (vezi Figura 5.17c). În cazul unei mase distribuite uniform pe o suprafaţă, momentul de inerţie al masei se calculează ca şi produsul dintre momentul de inerţie polar şi valoarea masei uniform distribuită pe suprafaţă.

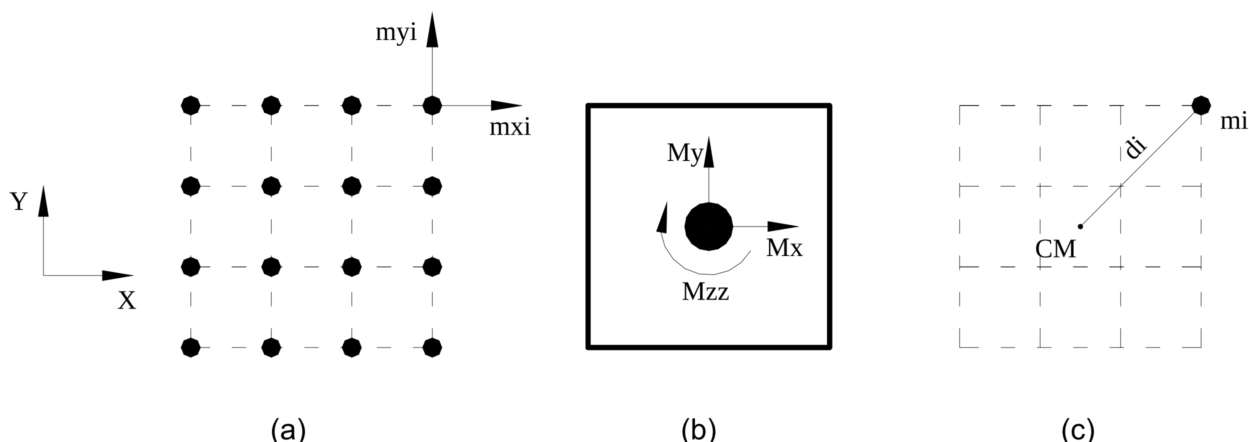


Figura 5.17. Concentrarea maselor în noduri la planşee flexibile (a); concentrarea masei în centrul de masă în cazul unor diafragme rigide (b); masa m_i şi distanţa d_i pentru calcul momentului de inerţie al masei (c).

Structurile din beton armat, mixte oţel-beton şi din zidărie care sunt proiectate să răspundă în domeniul inelastic în timpul unui cutremur de calcul, trebuie să reflecte rigiditatea redusă a elementelor structurale datorită fisurării betonului sau zidăriei.

Deformabilitatea fundaţiei şi/sau deformabilitatea terenului trebuie considerate, dacă acestea au o influenţă semnificativă asupra răspunsului structural.

5.7. Efectele de torsiune accidentală

"În cazul construcţiilor cu planşee indeformabile în planul lor, efectele generate de incertitudinile asociate distribuţiei maselor de nivel şi/sau a variaţiei spaţiale a mişcării seismice a terenului se consideră prin introducerea unei excentricităţi accidentale adiţionale. Aceasta se consideră pentru fiecare direcţie de calcul şi pentru fiecare nivel şi se raportează la centrul maselor. Excentricitatea accidentală se calculează cu expresia (vezi Figura 5.18):

$$e_{1i} = \pm 0.05\, L_i \tag{5.32}$$

unde:

e_{1i} excentricitatea accidentală a masei de la nivelul *i* faţă de poziţia calculată a centrului maselor, aplicată pe aceeaşi direcţie la toate nivelurile

L_i dimensiunea planşeului perpendiculară pe direcţia acţiunii seismice.

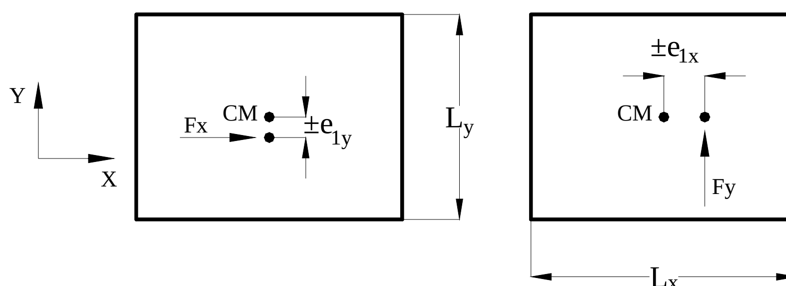


Figura 5.18. Definiția excentricității accidentale.

"În cazul în care pentru obținerea răspunsului seismic se utilizează un model spațial, efectul de torsiune produs de o excentricitate accidentală se poate considera prin introducerea la fiecare nivel a unui moment de torsiune:

$$M_{1i} = e_{1i} F_i \tag{5.33}$$

în care:

M_{1i} moment de torsiune aplicat la nivelul *i* în jurul axei sale verticale

e_{1i} excentricitate accidentală a masei de la nivelul *i* conform relației

F_i forța seismică orizontală aplicată la nivelul *i*

Momentul de torsiune se va calcula pentru toate direcțiile şi sensurile considerate în calcul."

5.8. Clase de importanță şi de expunere

Funcție de destinația construcțiilor, diferite structuri necesită nivele diferite de siguranță. Importanța construcțiilor depinde de consecințele prăbuşirii asupra vieții oamenilor, de importanța lor pentru siguranța publică şi protecția civilă în perioada de imediat după cutremur şi de consecințele sociale şi economice ale prăbuşirii sau avarierii grave. P100-1/2006 specifică nivelul necesar al siguranței prin clasificarea structurilor în diferite clase de importanță şi de expunere la cutremur. Fiecărei clase de importanță i se atribuie un factor de importanță γ_I (vezi Tabelul 5.4). Diferitele niveluri de siguranță se obțin multiplicând parametrii acțiunii seismice de referință cu factorul de importanță.

Tabelul 5.4. Clase de importanță şi de expunere la cutremur pentru clădiri (P100-1/2006).

Clasa de importanță	Tipuri de clădiri	γ_I
I	Clădiri cu funcțiuni esențiale, a căror integritate pe durata cutremurelor este vitală pentru protecția civilă: stațiile de pompieri şi sediile poliției; spitale şi alte construcții aferente serviciilor sanitare care sunt dotate cu secții de chirurgie şi de urgență; clădirile instituțiilor cu responsabilitate în gestionarea situațiilor de urgență, în apărarea şi securitatea națională; stațiile de producere şi distribuție a energiei şi/sau care asigură servicii esențiale pentru celelalte categorii de clădiri menționate aici; garajele de vehicule ale serviciilor de urgență de diferite categorii; rezervoare de apă şi stații de pompare esențiale pentru situații de urgență; clădiri care conțin gaze toxice, explozivi şi alte substanțe periculoase.	1.4
II	Clădiri a căror rezistență seismică este importantă sub aspectul consecințelor asociate cu prăbuşirea sau avarierea gravă: ▪ clădiri de locuit şi publice având peste 400 persoane în aria totală expusă ▪ spitale, altele decât cele din clasa I, şi instituții medicale cu o capacitate de peste 150 persoane în aria totală expusă ▪ penitenciare ▪ aziluri de bătrâni, creşe ▪ şcoli cu diferite grade, cu o capacitate de peste 200 de persoane în aria totală expusă ▪ auditorii, săli de conferințe, de spectacole cu capacități de peste 200 de	1.2

	persoane ▪ clădirile din patrimoniul național, muzee etc.	
III	Clădiri de tip curent, care nu aparțin celorlalte categorii	1.0
IV	Clădiri de mică importanță pentru siguranța publică, cu grad redus de ocupare şi/sau de mică importanță economică, construcții agricole	0.8

5.9. Combinarea acțiunii seismice cu alte tipuri de acțiuni

Combinațiile de încărcări pentru verificarea structurilor se întocmesc conform CR0-2005. În cazul încărcării seismice, combinarea încărcărilor pentru verificarea la starea limită ultimă se face conform relației:

$$\sum_{j=1}^{N} G_{k,j} + \gamma_I A_{Ek} + \sum_{i=1}^{N} \psi_{2,i} Q_{k,i} \tag{5.34}$$

unde:

$G_{k,j}$ - valoarea caracteristică a acțiunii permanente j

$Q_{k,i}$ - valoarea caracteristică a acțiunii variabile i

A_{ek} este valoarea caracteristică a acțiunii seismice ce corespunde intervalului mediu de recurență corespunzător SLU (IMR=100 în P100-1/2006)

$\psi_{2,i}$ - coeficient pentru determinarea valorii cvasipermanente a acțiunii variabile Q_i

γ_I - coeficient de importanță (vezi Tabelul 5.4)

Tabelul 5.5. Coeficientul $\psi_{2,i}$ pentru determinarea valorii cvasipermanente a acțiunii variabile (CR0-2005)

Tipul acțiunii	$\psi_{2,i}$
Acțiuni din vânt şi acțiuni din variații de temperatură	0
Acțiuni din zăpadă şi acțiuni datorate exploatării	0.4
Încărcări în depozite	0.8

În combinația de încărcări pentru verificarea la SLU, încărcările permanente sunt introduse cu valoarea lor caracteristică. Încărcările variabile sunt considerate doar cu fracțiunea cvasipermanentă din încărcarea caracteristică. Această abordare reflectă probabilitatea foarte mică de producere a unui cutremur cu IMR corespunzător SLU concomitent cu atingerea valorii maxime a încărcării variabile. Acțiunile variabile care se consideră în combinația seismică sunt cele din zăpadă şi din exploatare. Încărcările variabile din vânt şi din variații de temperatură nu se combină cu acțiunea seismică ($\psi_{2,i}$ = 0 în acest caz).

Pentru a determina valoarea caracteristică a acțiunii seismice A_{ek}, este necesară cunoaşterea masei structurii. Aceste mase sunt cele care corespund încărcărilor gravitaționale (permanente şi variabile) care intră în combinația de încărcări (5.34). Astfel, masele structurii pe baza cărora se determină A_{ek} sunt cele corespunzătoare următoarelor încărcări:

$$\sum_{j=1}^{N} G_{k,j} + \sum_{i=1}^{N} \psi_{2,i} Q_{k,i} \tag{5.35}$$

5.10. Verificarea la SLU

Conform Eurocode 8 (2003) verificarea unei structuri la SLU necesită îndeplinirea următoarelor cerințe principale: rezistență, ductilitate, rezistența fundațiilor şi rosturi seismice. P100-1/2006 impune suplimentar limitarea deplasărilor laterale de nivel.

5.10.1. Condiția de rezistență

Condiția de rezistență implică verificarea elementelor structurale (şi în unele cazuri a celor nestructurale) la eforturile de calcul determinate din combinația de încărcări corespunzătoare acțiunii seismice. Relația de verificare generică are forma:

$$E_d \le R_d \tag{5.36}$$

unde:
E_d – este valoarea de proiectare a efectului acțiunii, în combinația care conține acțiunea seismică
R_d – valoarea corespunzătoare efortului capabil

În general, în calculul structural trebuie considerate şi efectele de ordinul doi (calcul geometric neliniar). Într-un calcul geometric neliniar încărcările sunt aplicate pe forma deformată a structurii, iar eforturile şi deplasările structurii sunt în general mai mari decât într-un calcul liniar elastic. Efectele de ordinul doi sunt deosebit de importante în cazul acțiunii seismice, deoarece deplasările laterale sunt considerabile în acest caz, iar efectul acestora trebuie considerat în calcul. Totuşi, efectele de ordinul doi pot fi neglijate dacă pentru fiecare nivel este îndeplinită următoarea condiție:

$$\theta = \frac{P_{tot}\, d_r}{V_{tot}\, h} \leq 0.10 \qquad (5.37)$$

unde:
θ coeficientul de sensibilitate al deplasării relative de nivel
P_{tot} încărcarea verticală totală la nivelul considerat, în ipoteza de calcul seismic
d_r deplasarea relativă de nivel, determinată ca diferența deplasărilor laterale medii la partea superioară şi cea inferioară nivelului considerat, determinată pe baza deplasărilor corespunzătoare SLU - calculate conform relației (5.38)
V_{tot} forța tăietoare totală de nivel
h înălțimea nivel

"Dacă $0.1 < \theta \leq 0.2$, efectele de ordinul doi pot fi luate în considerare în mod aproximativ, multiplicând valorile de calcul ale eforturilor cu factorul 1/1-θ. Dacă $0.2 < \theta < 0.3$ determinarea valorilor eforturilor secționale se face pe baza unui calcul structural cu considerarea echilibrului pe poziția deformată a structurii (printr-un calcul de ordinul doi consecvent). Nu se admit valori $\theta \geq 0.3$". (P100-1/2006).

5.10.2. Limitarea deplasărilor laterale la SLU

Calculul deplasărilor laterale pentru SLU se face cu relația:

$$d_s = c\, q\, d_e \qquad (5.38)$$

unde:
d_s deplasarea unui punct din sistemul structural ca efect al acțiunii seismice
q factorul de comportare specific tipului de structură
d_e deplasarea aceluiaşi punct din sistemul structural, determinată prin calcul static elastic sub încărcări seismice de proiectare
c factor supraunitar care ține seama de faptul că în răspunsul seismic inelastic cerințele de deplasare sunt superioare celor din răspunsul elastic pentru structuri cu perioada de oscilație mai mică decât T_C (vezi capitolul 3.6.3 şi Figura 3.17)
Valorile coeficientului c se determină conform relației:

$$1 \leq c = 3 - 2.5\frac{T}{T_C} \leq 2 \qquad (5.39)$$

unde T este perioada proprie fundamentală de vibrație a structurii.

Conform P100-1/2006, verificarea deplasărilor relative de nivel la starea limită ultimă are drept scop evitarea pierderilor de vieți omeneşti prin prevenirea prăbuşirii totale a elementelor nestructurale. Se urmăreşte deopotrivă realizarea unei marje de siguranța suficiente fața de stadiul cedării elementelor structurale. Verificarea la deplasare se face pe baza expresiei:

$$d_r^{ULS} = c\, q\, d_{re} \leq d_{r,a}^{ULS} \qquad (5.40)$$

unde:
d_r^{ULS} deplasarea relativă de nivel sub acțiunea seismica asociata SLU
d_{re} deplasarea relativă de nivel, determinată prin calcul static elastic din încărcări seismice de proiectare

$d_{r,a}^{ULS}$ valoare admisibila a deplasării relative de nivel, egală cu *0.025h* (unde h este înălţimea de nivel)

În Figura 5.19a este prezentată relaţia dintre forţă laterală totală şi deplasarea unui nod al unei structuri multietajate. Deplasarea corespunzătoare încărcării seismice de proiectare F_e este d_e. Aceste forţe şi deplasări sunt determinate pe baza spectrului de proiectare, redus prin intermediul factorului *q* faţă de spectrul elastic. Dacă structura ar avea un comportament infinit elastic, acţiunii seismice nereduse i-ar corespunde forţa elastică qxF_e şi deplasarea qxd_e. Atunci când perioada fundamentală a structurii este mai mare decât perioada de control T_C a spectrului de răspuns, deplasările elastice sunt egale cu cele inelastice ($d_s=qxd_e$), coeficientul *c* având valoarea 1. Dacă perioada proprie de vibraţie a structurii este mai mică decât perioada de control T_C a spectrului de răspuns, deplasările inelastice sunt mai mari decât cele elastice (d_s=cxqxd_e), coeficientul *c* având valori supraunitare.

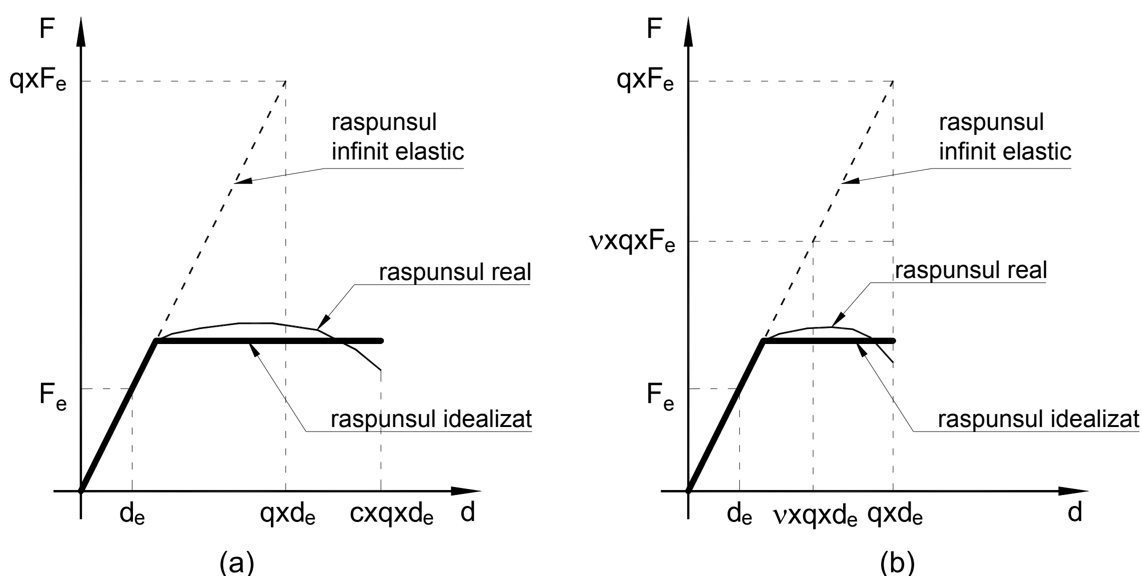


Figura 5.19. Calculul deformaţiilor la SLU (a) şi la SLS (b).

5.10.3. Verificarea ductilităţii locale şi globale

Componenta principală a factorului e comportare *q* se datorează ductilităţii structurii. Factorii de comportare *q* pe care se bazează determinarea forţelor seismice de calcul sunt specificaţi în normele de proiectare antiseismică funcţie de material, tipul structurii (şi poate fi afectat de regularitatea pe verticală a structurii). Structura proiectată trebuie să posede ductilitatea locală şi globală pe care s-a bazat determinarea factorilor de comportare *q*.

Cerinţele de ductilitate locală (la nivel de material, secţiune şi element structural) sunt specificate de norme pentru fiecare tip de material şi structură în parte. O condiţie generală pentru toate tipurile de materiale şi structuri o constituie asigurarea unei ductilităţi globale adecvate, corespunzătoare unui mecanism plastic global (vezi Figura 5.20a). Acest mecanism asigură un număr maxim de zone plastice şi o disipare uniformă a energiei seismice în întreaga structură. Trebuie evitate mecanismele plastice de nivel (vezi Figura 5.20b), deoarece în acest caz energia seismică este disipată într-un număr redus de zone plastice. În plus, la aceiaşi deplasare globală a structurii δ, elementele structurale care participă la formarea unui mecanism plastic de nivel suferă deformaţii plastice mai mari decât cele care participă la formarea unui mecanism plastic global.

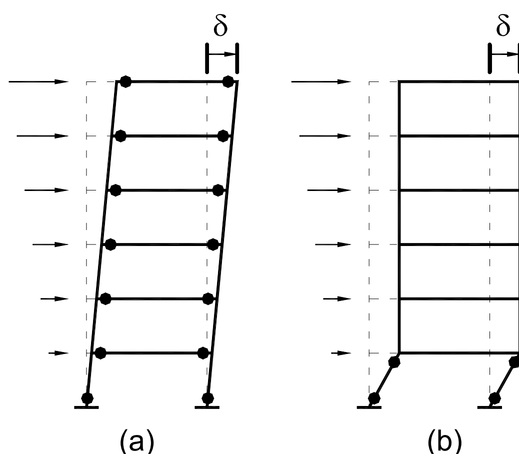


Figura 5.20. Mecanism plastic global (a) şi mecanism plastic de nivel (b).

5.10.4. Rezistența fundațiilor

Reacțiunile în fundații determinate pe baza forțelor seismice de proiectare sunt mai mici decât cele care vor apărea în cazul unui cutremur corespunzător SLU, deoarece acestea au fost determinate pe baza spectrului de proiectare. În consecință, dimensionarea fundațiilor şi a prinderilor elementelor structurale în fundații trebuie dimensionate în ipoteza că elementele structurale adiacente acestora au intrat în domeniul plastic. Eforturile de calcul trebuie să considere şi efectele suprarezistenței elementelor structurale adiacente fundațiilor.

5.10.5. Rosturi seismice

"Rosturile seismice se prevăd cu scopul de a separa între ele corpuri de construcție cu caracteristici dinamice diferite pentru a le permite să oscileze independent sub acțiunea mişcărilor seismice sau pentru a limita efectele eventualelor coliziuni, la un nivel situat sub capacitatea de rezistență a acestor clădiri, dimensionate în ipoteza unei comportări independente." (P100-1/2006)

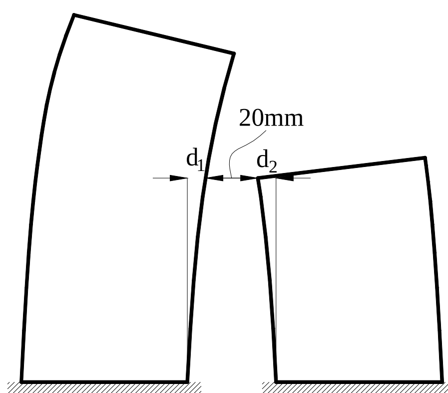


Figura 5.21. Rostul seismic necesar între două clădiri.

În cazul clădirilor cu caracteristici dinamice diferite, dimensiune rostului dintre cele două clădiri se stabileşte pe baza relației (vezi Figura 5.21):

$$\Delta = d_1 + d_2 + 20\ mm \qquad (5.41)$$

unde: Δ este lățimea necesară a rostului seismic; d_1, d_2 sunt deplasările maxime ale celor două clădiri sub acțiunea încărcărilor seismice orizontale la nivelul extremităților superioare a corpului de clădire cu înălțimea mai mică, deplasări calculate conform relației (5.38).

5.11. Verificarea la SLS

"Verificarea la starea limita de serviciu are drept scop menținerea funcțiunii principale a clădirii in urma unor cutremure, ce pot apărea de mai multe ori in viata construcției, prin limitarea degradării

elementelor nestructurale si a componentelor instalațiilor construcției. Prin satisfacerea acestei condiții se limitează implicit si costurile reparațiilor necesare pentru aducerea construcției in situația premergătoare seismului." (P100-1/2006).

Calculul deplasărilor laterale pentru SLS se face cu relația:

$$d_s = \nu q d_e \tag{5.42}$$

unde:
d_s deplasarea unui punct din sistemul structural ca efect al acțiunii seismice la SLS
q factorul de comportare specific tipului de structură
d_e deplasarea aceluiaşi punct din sistemul structural, determinată prin calcul static elastic sub încărcări seismice de proiectare
ν factor de reducere care ține seama de intervalul de recurență al acțiunii seismice asociat verificărilor pentru SLS. Pentru structuri din clasa de importanță III şi IV, P100-1/2006 prevede o valoare ν=0.5.

Verificarea la SLS se realizează prin limitarea deplasărilor relative de nivel corespunzătoare unui cutremur cu intervalul mediu de recurență corespunzător SLS, conform următoarei relații:

$$d_r^{SLS} = \nu q d_{re} \le d_{r,a}^{SLS} \tag{5.43}$$

unde:
d_r^{SLS} deplasarea relativă de nivel sub acțiunea seismica asociata SLS
d_{re} deplasarea relativa a aceluiaşi nivel, determinată prin calcul static elastic sub încărcări seismice de proiectare
$d_{r,a}^{SLS}$ valoarea admisă a deplasării relative de nivel.

Pentru clădiri cu elemente nestructurale din materiale fragile ataşate structurii:

$$d_{r,a}^{SLS} = 0.005h \tag{5.44}$$

Pentru clădiri având elemente nestructurale fixate astfel încât nu afectează deformațiile structurale sau având elemente nestructurale cu deformabilitate înaltă:

$$d_{r,a}^{SLS} = 0.008h \tag{5.45}$$

unde h este înălțimea de nivel.

În Figura 5.19b este prezentată relația dintre forță laterală totală şi deplasarea unui nod al unei structuri multietajate. Deplasarea corespunzătoare încărcării seismice de proiectare F_e este d_e. Aceste forțe şi deplasări sunt determinate pe baza spectrului de proiectare, redus prin intermediul factorului q față de spectrul elastic. Dacă structura ar avea un comportament infinit elastic, acțiunii seismice nereduse i-ar corespunde forța elastică qxF_e şi deplasarea qxd_e. Deoarece intervalul mediu de recurență corespunzător SLS este mai mic decât cel corespunzător SLU, forțele seismice corespunzătoare SLS vor fi mai mici decât cele corespunzătoare SLU. Valoarea forțelor seismice corespunzătoare SLS va fi, astfel, $\nu x q x F_e$, iar a deplasărilor corespunzătoare: $d_s = \nu x q x d_e$. Acest raționament, care explică relația (5.42) se bazează pe principiul deplasărilor egale şi este corectă în mod riguros numai pentru structuri cu perioada proprie fundamentală mai mare decât T_C. Cu toate acestea, din motive de

Este de menționat faptul că verificarea la SLS cuprinde doar limitarea deplasărilor relative de nivel, care au o legătură directă cu limitarea degradărilor structurale. Aceste verificări nu limitează în mod direct degradările nestructurale ale construcțiilor.